

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE USO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA EN EL  
PLAN DE ORDENAMIENTO DE CUENCA ALTA, DEL RÍO CHICAMOCHA**

**ANALYSIS OF EFFECT OF USE OF WATER QUALITY INDEX IN THE  
ORDERING PLAN OF THE RIVER BASIN UPPER OF THE CHICAMOCHA  
RIVER**

**JOHANA ARROYAVE ALVARADO  
INGENIERA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
ESP. EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS  
RECURSOS NATURALES**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, POSGRADOS  
NOVIEMBRE DE 2018**

# **ANÁLISIS DEL EFECTO DE USO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA EN EL PLAN DE ORDENAMIENTO DE CUENCA ALTA, DEL RÍO CHICAMOCHA**

## **ANALYSIS OF EFFECT OF USE OF WATER QUALITY INDEX IN THE ORDERING PLAN OF THE RIVER BASIN UPPER OF THE CHICAMOCHA RIVER**

Johana, Arroyave Alvarado

Ingeniera Ambiental, Profesional Ambiental, Fundación Somos Semilla, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, jarroyavea@correo.udistrital.edu.co

### **RESUMEN**

Este artículo expone la importancia del uso de los Indicadores ambientales, como herramientas claves en los procesos de planificación y toma de decisiones, así que se analizó el efecto que puede tener el uso del índice de calidad de agua, en el plan de ordenamiento de la cuenca alta del río Chicamocha, para aportar estos datos regionales, al sistema nacional de indicadores, que se desarrolla actualmente en Colombia.

**Palabras claves:** Indicadores, calidad ambiental, calidad del agua, planificación territorial.

### **ABSTRACT**

This article discusses the importance of the use of environmental indicators as important tools in planning and decision making processes, so analyzed the effect of the use of the water quality index in the ordering plan of the river basin upper of the Chicamocha river, to contribute this regional data, to the national system of indicators, that is currently developed in Colombia.

**Key Words:** Indicators, environmental quality, water quality, land use planning.

### **INTRODUCCIÓN**

Los indicadores ambientales -IA, por sus siglas, cobran gran importancia en el mundo como pieza fundamental de un sistema de información, que apoye a los tomadores de decisiones en la gestión ambiental del territorio. Esto viene ocurriendo desde la promulgación de la *Agenda 21* en la *Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*, celebrada en Río de Janeiro, en 1992 y de la cual Colombia fue partícipe.

Siendo los Indicadores, un tratamiento de datos que permite resumir una serie de eventos observados, facilitando la comunicación de estas a diferentes grupos sociales (Escobar, 2006) [1], los IA entonces, dan información de circunstancias en cuanto a calidad, estado y respuestas de la sociedad; cuando al medio ambiente se refiere, logrando con ello determinar acciones a tomar frente a escenarios de presión al recurso natural o cuando sea el caso, evidenciar el

avance en el proceso de gestión de los recursos naturales por ejemplo, gracias a la planificación basada en datos sistemáticos.

En el ámbito internacional, el intercambio de información también toma un papel fundamental, más aún cuando los estudios de caso de uno u otro lugar del mundo pueden ser extrapoladas en vía doble; como ejemplo de lo anterior se encuentran el documento denominado *Las Recomendaciones internacionales para las estadísticas del agua*, que consolidan las experiencias de diferentes países en el mundo en la gestión de este recurso, incluyendo el tema de la calidad del agua, integrándolos a su vez con datos sociales, demográficos, entre otros.

Como uno de los beneficios más notorios que puede traer el uso de los indicadores ambientales, se puede resaltar su carácter de información estandarizada y compacta, de la situación del recurso natural en un territorio dado; es por lo anterior que el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial (2006), indicaba que la información de calidad ambiental en el territorio nacional es insuficiente, y la existente, en varios casos presenta inconsistencia, configurándose en una de las principales restricciones con que se encuentran los planificadores y los tomadores de decisiones [2]

Se suscita entonces la necesidad de mantener bajo observación continua los cambios medio ambientales en toda la extensión del territorio colombiano; consolidarlos y estandarizarlos, logrando con ello tener a disposición, una herramienta que sea base en la determinación de medidas de manejo del tema estudiado.

Teniendo en cuenta lo anterior, es considerable la representatividad que toma el *Estudio Nacional del Agua -ENA*, que periódicamente da cuenta del estado de este recurso en Colombia, revelando presiones por uso y afectaciones antrópicas; además entrega una serie de indicadores de calidad y gestión del recurso, estandarizados para el país, afianzándose como un insumo técnico relevante para la planificación y la gestión integrada del recurso hídrico, en el marco de la *Política Nacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos* que lidera el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible- MADS.

En concordancia con lo expuesto, se realiza la identificación del uso del Índice de Calidad de Agua -ICA, en el *Plan de ordenamiento de cuenca hidrográfica - POMCA del río Chicamocha*, basándose en lo estipulado por el ENA, dando para ello un marco de contextualización a los indicadores en Colombia y el mundo.

Con lo precedente, se realizó una revisión del avance en la medición de este indicador para este POMCA, seguidamente, se postularon algunas conclusiones acerca del beneficio que traería el realizar la aplicación de estas mediciones para la región que baña esta cuenca.

## **1. MATERIALES Y MÉTODOS**

El diseño que se le dio a este trabajo, se basó en el método de análisis descriptivo - comparativo, bajo el instrumento de análisis documental; y para su desarrollo se exponen definiciones dadas por diferentes entidades, respecto a indicadores en

general, ambientales y específicamente para el índice de calidad ambiental. Después de esto, se describe la ubicación de la cuenca hidrográfica y otras generalidades.

### **1.1. INDICADORES**

En el marco internacional, diferentes organizaciones como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos –OCDE o La Agencia de Protección del Medio Ambiente –EPA, por sus siglas en inglés; y en Colombia el Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE; dan definiciones de lo que es un indicador coincidiendo en que se trata de mediciones de parámetros que proporcionan información sobre una realidad.

Los indicadores son entonces una serie estadística tratada, que puede mostrar el estado, la evolución y tendencias de un fenómeno que interesa evaluar; de acuerdo a la situación a monitorear, pueden corresponder a una o más variables combinadas, que toman un valor en el tiempo y espacio, entregando información al público y a los tomadores de decisiones de desarrollo [3].

Dicho de otro modo, Escobar en su estudio de *Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas*; expresa que este tratamiento de datos, facilita la comunicación de estas situaciones a diferentes grupos sociales (2006). Dicha comunicación se debe dar de forma contextualizada, clara y amigable utilizando infografía, gráficos y mapas [3].

Por otro lado, la OCDE (1993), expone que un indicador es un valor derivado de parámetros medidos, que proporcionan información acerca de un fenómeno y de manera sintética. Son diseñados con un propósito específico, reduciendo el número de mediciones que se requieren para dar cuenta exacta de una situación; explicando que el conjunto de indicadores debe ser limitada, con el ánimo de no saturar de información la situación a presentar, no obstante un número reducido de indicadores o uno, exclusivamente; puede ser insuficiente para el mismo fin [4].

Por su parte el DANE (2012), dice que de los indicadores, en términos generales, se pueden sacar rápidamente conclusiones útiles y fidedignas. También explica que la información que aporta un indicador está enfocada a una de las dimensiones del desarrollo, sin embargo no pueden abarcar todas estas; su medición es comparable en el tiempo, respecto a patrones establecidos y además debe transmitir la información de una temática para la toma de decisiones, siendo herramientas útiles para la planeación y la gestión en general [5].

Los indicadores se compilan de acuerdo a: Su medición, nivel de intervención, jerarquía y calidad, conforme a lo estipulado por el DANE (2012), en su guía para la construcción de indicadores. Cabe anotar que esta categorización no es excluyente y además se pueden agrupar de formas diferentes, de acuerdo a la metodología de diseño que se le dé [5]. La clasificación es como sigue:

Según medición pueden ser:

1. Indicadores cuantitativos: este tipo de indicadores son una representación numérica de la realidad. Su característica más importante es que, al encontrarse valores diferentes, estos pueden ordenarse de forma ascendente o descendente.
2. Indicadores cualitativos: es otro instrumento que permite tener en cuenta la heterogeneidad, amenazas y oportunidades del entorno organizacional y/o territorial. Además, permiten evaluar, con un enfoque de planeación, la capacidad de gestión de la dirección y demás niveles de la organización. Su característica principal es que su resultado se refiere a una escala de cualidades. Pueden ser categóricos o binarios [5].

Según nivel de intervención, en el que se relacionan insumos, resultados e impactos, midiendo el avance en las metas esperadas con los insumos disponibles, se tienen:

1. Indicadores de impacto: se refieren a los efectos, a mediano y largo plazo, que pueden tener uno o más programas en el universo de atención y que repercuten en la sociedad en su conjunto. Indicadores de resultado (outcome): se refieren a los efectos de la acción institucional y/o de un programa sobre la sociedad.
2. Indicadores de producto (outputs): se refieren a la cantidad y calidad de los bienes y servicios que se generan mediante las actividades de una institución o de un programa.
3. Indicadores de proceso: se refieren al seguimiento de la realización de las actividades programadas, respecto a los recursos materiales, personal y/o presupuesto. Este tipo de indicadores describe el esfuerzo administrativo aplicado a los insumos para obtener los bienes y servicios programados.
4. Indicadores de insumo: se refiere al seguimiento de todos los recursos disponibles y utilizados en una intervención.
5. Indicadores de gestión: este tipo de indicadores también son denominados indicadores internos, y su función principal es medir el primer eslabón de la cadena lógica de intervención, es decir, la relación entre los insumos y los procesos.
6. Indicadores estratégicos: estos indicadores permiten hacer una evaluación de productos, efectos e impactos. Es decir, la forma, método, técnica, propuesta, solución y alternativa son elementos que pertenecen, bajo el criterio de estrategia, a todo el sistema de seguimiento y evaluación [5].

Para la categoría de Indicadores de calidad, que miden la eficiencia y la eficacia de un proyecto; para proponer o introducir soluciones a los procesos o área críticas del mismo, se cuenta entonces con:

1. Indicadores de eficacia: expresan el logro de los objetivos, metas y resultados de un plan, programa, proyecto o política.
2. Indicadores de eficiencia: permiten establecer la relación de productividad en el uso de los recursos.

3. Indicadores de efectividad: Este concepto involucra la eficiencia y la eficacia, es decir, el logro de los resultados programados en el tiempo y con los costos más razonables posibles. Es la medida del impacto de nuestros productos en objetivos [5].

Se debe agregar que la finalidad principal del diseño de un indicador, es el monitoreo de dinámicas que necesitan intervención, dándoles desde su inicio un enfoque e intencionalidad; desde un sistema de indicadores diseñado para una región o sector [3], tal como se expondrá más adelante en este artículo.

## **1.2. INDICADOR AMBIENTAL**

Con base en las definiciones de indicadores, dadas en el acápite anterior; en este aparte se dirige la atención a los Indicadores Ambientales, conocidos por su sigla IA, para los que, diferentes entes han dado similares y complementarias descripciones. Entre ellas está la CEPAL, OCDE, DANE, Ministerio de Ambiente de España, entre otros.

Los IA, Son un valor resultante de un conjunto de parámetros, que ofrece información sobre un fenómeno; con un significado dado, por una definición clara de su función [4]. Están basados en series de datos o estadísticas que miden algunos componentes como, el deterioro ambiental, situaciones de insostenibilidad o de desbalance ecológico tal como lo ha dicho el United Nations System - Wide Earthwatch 1998, citado en Olave (200) [6]

Por su parte, el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente de Uruguay estipula que los IA son medición de valores que adquieren las variables físico-químicas y biológicas de los recursos naturales, permitiendo un mejor entendimiento del estado del ambiente, más allá de los factores naturales, con abordaje de la dimensión social, económica, política y cultural; enriqueciendo el análisis del medio ambiente y el manejo de los recursos naturales, evolución de los impactos sectoriales, etc. [6].

Este Ministerio de Uruguay, cuenta con un sistema de acopio y estandarización de la información en el tiempo, a través del La Dirección Nacional de Medio Ambiente - DINAMA, encargada de la formulación, ejecución, supervisión y evaluación de los planes nacionales de protección del medio ambiente.

El Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia - MADS, menciona que un indicador ambiental:

Es aquel que informa de manera sintética sobre aspectos ecosistémicos y del entorno físico biótico, o sobre la relación de éstos con la estructura sociocultural de un lugar geográfico en el tiempo, brindando señales sobre los cambios que en esta materia suceden y que son de interés para determinados actores [7].

Por su parte la CEPAL puntualiza que los IA, se ocupan de describir y mostrar las principales dinámicas ambientales y realiza una diferenciación entre estos y los Indicadores de desarrollo sostenible, que pretenden exponer las propensiones en las dinámicas económicas, sociales y ambientales y sus interrelaciones; aunque para este fin en América Latina por lo menos, esta medición “ha consistido en construir conjuntos de indicadores que incorporan los principales indicadores provenientes de la economía, lo social y lo ambiental, sin integrar ni capturar adecuadamente sus interrelaciones” [3] (Ver figura1).



Figura 1. Relación Indicadores de Desarrollo Sostenible  
Fuente: CEPAL, Serie Manuales No 61, 2009 [3]

Según Manteiga (2000) y el Ministerio de Ambiente de España (1996), refleja en forma sintética una preocupación social en cuanto a una condición ambiental del territorio, basada en análisis científicos, con lo cual se puede dotar o sustentar un proceso de toma de decisiones al respecto; consolidándolos de carácter urgente para el desarrollo de políticas ambientales [8], [9].

Es así que, Manteiga sostiene que existe diversidad de indicadores para el desarrollo de políticas ambientales, que pueden agruparse en Indicadores de evaluación ambiental, que dan cuenta del estado del medio ambiente en relación a una preocupación ambiental y, por tanto, el informe sobre la presión que este soporta, sumando a esto la respuesta social [8].

Por otra parte, están los Indicadores de integración sectorial, advirtiendo la relación o presiones ejercidas por dichas actividades económicas, respecto a las condiciones ambientales, y finalmente, se habla de Indicadores de integración económica, que informan sobre el coste ambiental de los impactos ambientales suscitados por las actividades económicas. A continuación, se presenta una tabla resumen (Tabla1) de esta clasificación de indicadores ambientales [8].

Tabla 1 Clasificación IA

<b>Indicadores de evaluación ambiental (preocupación ambiental: Cambio climático)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variación de temperatura media global</li> <li>• Concentración atmosférica de gases efecto invernadero</li> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O</li> </ul>
<b>Indicadores de integración sectorial ( Sector: Transporte)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio del transporte por modo</li> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV<sub>s</sub>, CO</li> <li>• Consumo final de energía por modo</li> <li>• Longitudes de la red de carreteras</li> <li>• Valor añadido bruto</li> </ul>
<b>Indicadores de integración económica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PIB Verde</li> <li>• Gasto total consolidado en actividades características medioambientales</li> </ul>

Fuente: Manteiga, 2000. [8]

Cabe resaltar, que a pesar de las grandes ventajas que suponen los IA para la formulación de políticas ambientales, el panorama es un tanto desalentador para los países de América Latina y el Caribe, cuando se tienen en cuenta que la obtención de la Información clara, está relacionada con “la naturaleza transversal y compleja de los fenómenos ambientales que en rigor implica la vastedad del territorio de cada país [3].

Al mismo tiempo, el costo de elaborar y actualizar estadísticas ambientales oficiales, también suponen otro de los grandes retos de los IA en esta región. De ahí la importancia de concentrar esfuerzos y recursos en la producción de información seleccionada, priorizando aquella que sea clave para mejorar la eficacia de las decisiones [3].

Para dar funcionalidad al conjunto de indicadores que acoja un país o región; manejando debilidades como las expuestas y teniendo en cuenta las oportunidades; tal como lo expone Manteiga (2000), es preciso establecer el objetivo concreto del sistema de indicadores, y para quién será útil o a quién va dirigido y para qué [8].

Por su parte, la información que finalmente puede ser utilizada para la construcción de dicho sistema de indicadores, requiere un marco conceptual que permita estructurarla y facilitar su acceso e interpretación, tal como lo dice la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México – SEMARNAT (S.F.); destacando que existen varios modelos para organizar los conjuntos de indicadores como el denominado Presión Estado-Respuesta –PER de la OCDE [10].; que es el más usado en ese país, al igual que en Colombia; en su sistema de indicadores ambientales.

Para señalar brevemente de que se trata el modelo PER, a continuación, en la Figura 2, se muestra el esquema presentado por SEMARNAT, en su portal del Sistema de Nacional de Indicadores Ambientales; exponiendo la presión como una acción generadora de la problemática o fenómeno en análisis, el estado como muestra de la situación actual o tendencia del recurso y finalmente, la respuesta, como las acciones realizadas para la atención de la problemática.



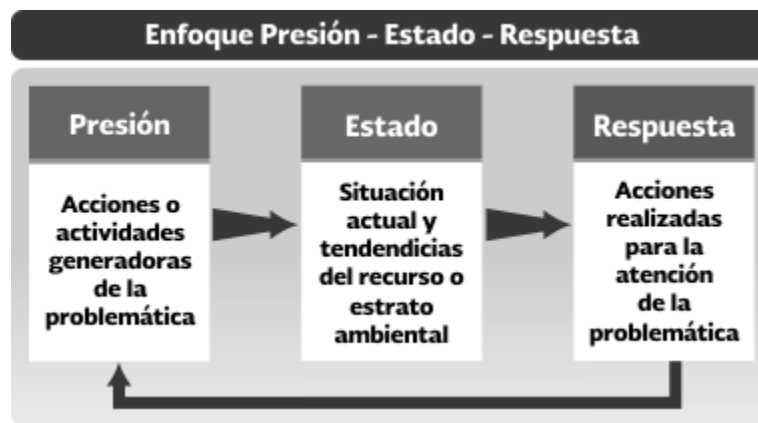


Figura 2. Modelo PER  
Fuente: SEMANART México, 2016 [10]

Este modelo fue desarrollado por Frien y Rapport en el año 1979 y ha sido usado ampliamente por los países que conforman la OCDE, consolidándose en un modelo de desarrollo de indicadores ambientales de este organismo internacional. [11]. El modelo PER entonces:

(...) Se basa en un concepto de causalidad: las actividades humanas ejercen presiones sobre el medio ambiente y cambian su calidad y la cantidad de los recursos naturales (el recuadro "Estado"). La sociedad responde a estos cambios a través de las políticas económicas y sectoriales, ambientales generales (la "respuesta de la sociedad"). La última forma un bucle de retroalimentación a las presiones a través de las actividades humanas. En un sentido más amplio, estas medidas forman parte de un ciclo ambiental (política) que incluye la percepción de problemas, formulación, seguimiento y evaluación de políticas [4]

Sobre lo anterior, el modelo PER define, en primer lugar, a las presiones como las ejercidas por las actividades antrópicas sobre el ambiente, incluyendo la calidad y cantidad de los recursos naturales. Por otra parte, el Estado, a la descripción de la calidad del medio ambiente, dando una visión general de la situación del entorno o el sistema, una vez han sido afectados y su evolución en el tiempo. Y por último, los indicadores de respuesta, presentan los esfuerzos que realizan la sociedad, las instituciones o gobiernos orientados a la prevención, reducción o mitigación de los impactos causados por las presiones o la gestión del estado actual de degradación, mostrando los resultados de los mismos esfuerzos.

### 1.3. EVOLUCIÓN DEL USO DE INDICADORES AMBIENTALES EN COLOMBIA

Desde la promulgación de la *Agenda 21*, en la *Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*, celebrada en Río de Janeiro, en 1992 y de la cual Colombia fue partícipe. Los indicadores de calidad ambiental, cobran gran importancia a en el mundo, como consecuencia de la preocupación por llevar a cabo acciones de protección para el medio ambiente; a pesar de que ya se había llevado a cabo tratados y estipulado principios de cuidado del medio ambiente como los dictados en Estocolmo en 1972.

No obstante lo anterior, en Colombia, se le dio una incorporación al medio ambiente y desarrollo económico y social desde la Constitución de 1991, que han sido la base para el desarrollo de en la Ley 99 e 1993, pues desde la definición de Desarrollo Sostenible dada en Río 1992 se ve manifiesta la incidencia que tuvo dicha Conferencia en las políticas internas de Colombia y otros países participantes de la misma.

Es desde allí que Colombia, con la ley 99 de 1993 creó el SINA, que se define como “el conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten la puesta en marcha de los principios generales ambientales contenidos en la Constitución Política de Colombia de 1991” [12]; que es por su definición y por las funciones que se le delegaron, el punto de nacimiento del sistema de indicadores de Colombia.

Ahora bien, según lo data la CEPAL en su serie manuales N° 55, data en 1996 se da el inicio de los IA en Colombia, con la creación del Sistema de Indicadores de Planificación y Seguimiento Ambiental - SIPSA, por la Unidad de Política Ambiental –UPA, actual Dirección de Política Ambiental, del Departamento Nacional de Planeación -DNP, en un convenio de cooperación técnica con el Centro Internacional de Agricultura Tropical -CIAT. El SIPSA, estuvo basado en indicadores de los recursos naturales y el medio ambiente, que le permitiera identificar las necesidades de inversión pública e impacto de las políticas, planes y proyectos sobre el medio ambiente y los recursos naturales [13].

La metodología escogida para el diseño de estos indicadores, fue la PER, a la cual le fueron incorporadas las categorías de Efecto/Impacto y Gestión. La primera fase del proyecto SIPSA constó de la generación de un Marco Conceptual de diseño y construcción del sistema de indicadores ambientales, que contó con 256 indicadores por área temática, variables y categoría, con 177 hojas metodológicas elaboradas. Se abordó la información disponible para este diseño, así como los datos y estadísticas recopilados y georeferenciados a la fecha [13].

El SIPSA también contó con segunda y tercera fase, en los que se diseñaron indicadores agregados e índices ambientales, los cuales no fueron desarrollados posteriormente.

Consecutivamente, se desarrolló el Sistema Unificado de Indicadores para el Seguimiento a la Planificación y Gestión Ambiental – SUIGA en el año 1998 en el marco de la política Nacional Ambiental 1998- 2002 que aporta una herramienta de alto valor para la toma de decisiones y propone aunar esfuerzos por integrar y unificar la información existente, producida por diferentes entidades el SINA, y que se encontraba en distintos formato, escalas, entre otras. Obteniendo un nuevo marco ordenador, con un conjunto mínimo de 24 indicadores ambientales., estos IA fueron la base para la construcción del sistema actual de Indicadores.

Al presente, el Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia – SISA, cuenta con un listado de indicadores como resultado, con un total de veintiséis (26) indicadores, organizados en cuatro categorías y las tres áreas del marco PER, denominados: Oferta Ambiental, demanda de recursos, salidas del sistema económico y gestión ambiental, y por último la respuesta de la sociedad [13].

Siendo que, los indicadores de Oferta Ambiental del SISA, dan cuenta de las condiciones actuales de los recursos naturales; en esta categoría se incluyen entonces los relacionados con la calidad de las aguas superficiales y en consecuencia el trabajo denominado *Los Lineamientos conceptuales y metodológicos para las Evaluaciones Regionales del Agua* -ERA, dados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2013) pertenece a la línea base y fuente de información que desarrolla esta categoría de indicadores.

Las ERA, se desarrollan bajo la directriz dada por el Decreto 1640 de 2012, artículo 8, que precisa lo siguiente:

Las autoridades ambientales competentes elaborarán las Evaluaciones Regionales del Agua que comprenden el análisis integrado de la oferta, demanda, calidad y análisis de los riesgos asociados al recurso hídrico en su jurisdicción para la zonificación hidrográfica de la autoridad ambiental, teniendo como base las subzonas hidrográficas [14]

El sistema de información que se consolide a partir del examen, resultados y análisis de las ERA se convierte en un soporte fundamental del proceso de la gestión integrada del agua -GIRH además de ser un insumo para la evaluación nacional, el seguimiento de la Política Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico -PNGIRH y la toma de decisiones en los diferentes niveles.

El IDEAM, con el propósito de lograr coherencia, pertinencia y eficiencia en el proceso de generación y uso de la información que se utiliza en los diferentes ordenes de toma de decisiones, reconoce la importancia y necesidad de consolidar un desarrollo conceptual y metodológico para las ERA que permitan superar deficiencias conceptuales y metodológicas e integrar información relevante que se encuentra dispersa [14].

En este sentido el Decreto 1323 de 2007 asigna responsabilidades al MADS, al IDEAM, al INVEMAR a las autoridades ambientales regionales y urbanas para implementar el Sistema de Información del Recurso Hídrico –SIRH, definiéndolo en su artículo 2 como “el conjunto que integra y estandariza el acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfico reglamentos y protocolos que facilita la gestión integrada de recurso hídrico[14].

Teniendo este contexto el IDEAM se alinea con los objetivos de la Política Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico -PNGIRH publicada en el 2010 para desarrollar las ERA con base en su aproximación conceptual y metodológica del ENA 2010 y los determinantes del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (*Ley 1450 de 2011*) el marco normativo vigente y el proceso de planificación y ordenamiento ambiental del territorio.

*El Estudio Nacional del Agua 2010 -ENA*, se constituye entonces, en un referente nacional puesto que integra los resultados de la evaluación del agua en Colombia en los aspectos relacionados con oferta superficial y subterránea, uso y

demanda, condiciones de calidad, y las afectaciones al régimen hidrológico por variabilidad y cambio climático [14].

Este estudio, soportado en conceptos y metodologías replicables con bases de datos sistematizadas e integradas al SIRH; utiliza información oficial de series históricas de 34 años continuos de monitoreo, proveniente de la Red Hidrometeorológica Nacional con 423 estaciones hidrológicas, 2.000 de precipitación y 389 climatológicas de la red del IDEAM y 30 estaciones de otras entidades, en suma de dichas estaciones, se tiene 154 correspondientes a la red de calidad del agua. La información de sectores usuarios del recurso se obtiene del Sistema Estadístico Nacional del DANE y de estadísticas de los mismos sectores [15]

En ENA, dentro de su evaluación del recurso agua en las principales cuencas del país tiene 5 áreas de análisis, 41 zonas y 309 subzonas hidrográficas para condiciones hidrológicas de año medio, año seco y año húmedo para aguas superficiales, tal como interesa para el desarrollo de este artículo.

Es entonces dentro del ENA, que se desarrolla el Índice de Calidad del agua que se tratará en el siguiente acápite.

#### **1.4. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA - ICA**

La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal y tal como lo exige, las autoridades ambientales competentes deben realizar monitoreo de las fuentes hídricas, para los parámetros de calidad, a temperatura ambiente y del agua in situ, de por lo menos demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, Coliformes fecales y pH [16]

Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico [17]

Dentro de los indicadores propuestos para evaluar el estado de la calidad fisicoquímica y biológica del agua y las presiones sobre ella, está el *Índice de Calidad del Agua- ICA por sus siglas*; como indicativo de las condiciones de calidad fisicoquímicas en las corrientes y cuerpos de agua superficial, para la región monitoreada con determinadas estación, en un intervalo de tiempo específico.

Gracias a la categoría de calidad que le asigna este cálculo a la corriente evaluada, es posible definir su estado en general y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables físicas, químicas y microbiológicas [15].

Este indicador, tiene una periodicidad de actualización recomendable anual como mínimo para cada unidad espacial de análisis; a partir de promedios en función de las campanas de monitoreo que se realicen en la red regional de calidad del agua [18]

#### 1.4.1. Fórmula y unidad de medida del indicador

El índice de calidad del agua es una sumatoria aritmética equiponderada de varias variables a partir del de la siguiente ecuación.

Ecuación 1

$$ICA = \sum_{i=1}^n WI * li$$

Dónde:

*li*: valor calculado de la variable *i* (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente)

*wi*: ponderación o peso relativo asignado a la variable de calidad *i*, ver valor en la Hoja metodológica Anexo 1

*n*: Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; *n* es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Las variables correspondientes al valor *i* a medir, que pueden ser 5,6 o 7, en el siguiente orden, son:

Tabla 2 Variables del ICA

Variable	Unidad de medida
Oxígeno disuelto, OD	% saturación
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/l
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/l
Conductividad eléctrica, C.E	µS/cm
pH	Unidades de pH
N total/P total	(mg/l)/(mg/l)
Coliformes fecales	UFC /100 ml

Fuente: ENA 2014 [16].

En el Anexo 1, se encuentra el resumen de las variables que están involucradas en el cálculo del indicador para los casos en los que se emplean seis o siete variables, según la información disponible, la unidad de medida y la ponderación de cada parámetro en la fórmula de cálculo.

Los datos de las mediciones para las variables del indicador, se obtienen gracias a los monitoreos de las condiciones de calidad en las estaciones de la red regional de calidad del agua, la red hidrometereológica del IDEAM y de los puntos de monitoreo para evaluar la calidad del agua en las corrientes superficiales.

#### **1.4.2. Descripción metodológica del ICA**

Las variables básicas, se deben calcular de forma independiente, para ser ponderadas en la fórmula del ICA, para lo cual se puede consultar el Anexo1, con las diferentes fórmulas individuales y su preparación para ser agregadas a la ecuación 1. En el Anexo 2, se encuentra el registro de las categorías para los descriptores de calidad del indicador de acuerdo con la hoja metodológica, versión 1.0, elaborada por el IDEAM.

La ponderación de las variables físicas, químicas y microbiológicas puede variar en función de la relevancia para análisis específicos de condiciones de calidad de aguas [19]. Los indicadores ICA básicamente son una expresión de un número de parámetros que permiten valorar el recurso hídrico para un determinado uso.

#### **1.5. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO**

La cuenca del río Chicamocha está conformada por once subcuencas, de orden 4: Río Tuta, Río Chulo, Río Tota, Río Pesca, Río de Piedras, Río Chiquito Río Moniquira, Q. Honda Grande, Río Sotaquirá, Río Sotaquirá, Río Chicamocha sector Duitama-Belencito y Río Chicamocha sector Paipa-Duitama, discurriendo sus aguas por 24 municipios del departamento de Boyacá: Chivatá, Cómbita, Corrales, Cúbita, Duitama, Firavitoba, Iza, Motavita, Nobsa, Oicatá, Paipa, Pesca, Santa rosa de Viterbo, Siachoque, Sogamoso, Sora, Soracá, Sotaquirá, Tibasosa, Toca, Tópaga, Tota, Tunja y Tuta,

Algunos de estos municipios pertenecen totalmente a la cuenca alto de río Chicamocha, mientras otros solo pertenecen a la cuenca en algún porción de área. El Río Chicamocha es el límite departamental entre Boyacá y Santander (Ver localización den el Anexo 3,4 y 5).

La cuenca alta del Río Chicamocha de acuerdo a la estructura para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, basada en el Decreto 1640 de 2012, hace parte del área hidrográfica –AH Magdalena –Cauca, en la zona hidrográfica –ZH Sogamoso, Subzona hidrográfica -SZH Río Chicamocha [19].

Esta cuenca, drena cerca de la tercera parte del departamento de Boyacá. Por lo que se recibe las aguas de diferentes Industrias de Boyacá, vertimientos contaminantes, provenientes de sectores que incluye actividades de minería, turismo, metalúrgica, curtiembres, entre otras, pasando a su vez por la recepción de aguas domésticas de la mayoría de los municipios de la cuenca [20]

### **2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Fundamentado en el método de análisis comparativo, se identificaron los parámetros medidos en las estaciones ubicadas a lo largo de la cuenca alta del Río Chicamocha, en paralelo con los parámetros que contempla el cálculo del ICA, según el ENA.

Esta comparativa, se desarrolló con el ánimo de estimar el avance en monitoreo y seguimiento que tiene el plan de ordenación y manejo de la cuenca alta del Río Chicamocha, en relación con este índice. El ejercicio se realiza bajo la premisa de la importancia que supone el uso de un indicador como el ICA, al definir la categoría de calidad de agua en un sector o región, y gracias a este resultado, evidenciar las ventajas que supone esta información a la hora de la toma de decisiones de gestión del recurso.

## 2.1. VARIABLES MEDIDAS, QUE HACEN PARTE DEL ICA.

Teniendo como base la tabla 2, las variables del ICA que se están midiendo actualmente en la región de Río Chicamocha son:

Tabla 3 Comparativa variables ICA Vs POMCA

Variable ICA, ENA	Medición para POMCA Año 2015
Oxígeno disuelto, OD	Si
Sólidos suspendidos totales, SST	Si
Demanda química de oxígeno, DQO	Si
Conductividad eléctrica, C.E	Si
pH	Si
N total/P total	Si*
Coliformes fecales	Si*

Fuente: Elaboración propia, 2016

Con esta tabla comparativa, se observa que la Autoridad ambiental de Boyacá Corpoboyacá, ha venido midiendo los parámetros necesarios para aplicar el cálculo del Indicador ICA durante el año 2015, sin embargo para los parámetros marcados con asterisco, este análisis presentó algunas observaciones.

Cabe aclarar que se consultaron los últimos datos, es decir los tomados para el año 2015, puesto que el POMCA en estudio, está en actualización y se quiso tener la información más reciente, para la cual se han aplicado mejoras; también se resalta que se analizaron los datos tomados para un año, por la periodicidad de medición que debe cumplir el cálculo del ICA, como se ha expuesto anteriormente.

Los periodos de medición de los parámetros se dieron en cuatro campañas, la primera fue desarrollada en el mes de febrero, la segunda en el mes de junio, la tercera en el mes de agosto y la cuarta campaña en el mes de octubre del año 2015; para 30 estaciones, como se observa en el Anexo 6 perfiles de calidad.

Es así que para el caso de la relación nitrógeno total y fosforo total, que mide la degradación por intervención antrópica [18], no se encuentra el dato directo, en los perfiles de medición de parámetros de calidad de la cuenca; empero, reportan mediciones individuales para Nitrógeno total y Fosforo total, por lo que faltaría

este tratamiento de datos para tener el input o entrada adecuada para la aplicación del formula del ICA.

Para el caso de Coliformes fecales, entendidos como el grupo de organismos Coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44-45 °C [21], se observó que las mediciones se realizaron en términos del número más probable, y no en la Unidad que requiere el ICA que es UFC/100 ml (unidad formadora de colonias), por lo que también requiere un tratamiento para ser ingresada en la ecuación de cálculo del ICA.

En cuanto al oxígeno disuelto -OD que define la presencia/ ausencia potencial de especies acuáticas; Solidos suspendidos totales -SST, que define la presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua; la demanda química de oxígeno, como el reflejo de presencia de sustancia químicas susceptibles de ser oxidadas, la conductividad eléctrica que está relacionada con la suma de cationes y aniones que refleja la mineralización; y finalmente el pH que mide la acidez del medio; son medidos todos por las estaciones ubicadas a lo largo y ancho de la cuenca alta del Río Chicamocha, de acuerdo a lo estipulado por la ecuación de cálculo del ICA, respecto a unidades.

De otro lado se constató que el POMCA en estudio, cuenta con un sistema de indicadores mínimos ambientales para la cuenca alta del río Chicamocha, SIMACARRCH, constituido bajo el marco ordenador de presión, estado, respuesta; en este método, lo referente a calidad del agua se encuentra en el grupo de indicadores de estado, para lo cual proponen dos indicadores: SST en la corriente principal y la saturación de oxígeno en la misma corriente únicamente [22].

## 2.2. CÁLCULO

Aunque en teoría estricta, el cálculo debe realizarse con una ponderación anual de los parámetros para la cuenca, se realizó el cálculo para la estación Nazaret, en el sector del mismo nombre, municipio de en Duitama, ubicado en la Subcuenca del río Chicamocha sector Duitama-Belencito, para las mediciones en campaña seca del año 2015; a modo de ejemplo, bajo la modalidad 5 variables.

Tabla 4 Datos Estación Nazaret

Variable ICA, ENA	Datos i	Datos f
Oxígeno disuelto, OD	0	0
Sólidos suspendidos totales, SST	26483	0
Demanda química de oxígeno, DQO	7600	0.125
Conductividad eléctrica, C.E	1415	0
pH	7.45	1

Fuente: Elaboración propia, tomado de los perfiles de calidad de la cuenca del río Chicamocha, 2015.



### 2.2.1. Oxígeno disuelto:

Por ser cero, el Porcentaje de saturación de oxígenos será también  $PS_{OD}=0$ , por lo tanto se tiene que.

$$I_{OD}=1-(1-0,01*PS_{OD})$$

$$I_{OD}=1-(1-0,01*0)$$

$$I_{OD}=0$$

### 2.2.2. Solidos Suspendido Totales

$$I_{SST}=1-(0,02+0,03*SST)$$

$$I_{SST}=1-(0,02+0,03*26483)$$

$$si SST \leq 4.5, entonces I_{sst} = 1$$

$$si SST \geq 320, entonces I_{sst} = 0$$

$$I_{SST}=0$$

### 2.2.3. Demanda Química de Oxígeno

De acuerdo a la hoja metodológica, sí:

$$DQO > 80, entonces I_{DQO} = 0.125$$

### 2.2.4. Conductividad Eléctrica

$$I_{CE}=1-10^{(-3.26+1.34 \log_{10} CE)} = -3.22$$

$$Cuando I_{CE} < 0 entonces I_{CE} = 0$$

### 2.2.5. pH

$$si 7 < pH \leq 8 entonces I_{pH} = 1$$

### 2.2.6. ICA

$$ICA = \sum_{i=1}^5 (0.2 * 0) + (0.2 * 0) + (0.2 * 0.125) + (0.2 * 0) + (0.2 * 1)$$

$$ICA = 0 + 0 + 0.025 + 0 + 0.2$$

$$ICA = 0.225$$

De acuerdo a los descriptores de calidad dados para el ICA (ver Anexo 2), cuando el resultado se ubica entre 0.00 y 0.25, la calificación de la calidad de agua es muy mala, con una señal de alerta Roja. Siendo el resultado coherente, cuando se relaciona el punto de análisis, con las industrias que se encuentran en el sector, Por ejemplo Aserias Paz del Río.

### **3. CONCLUSIONES**

El cuidado, uso adecuado y sostenible del medio ambiente es un gran desafío que enfrenta todo el mundo y con mayor intensidad, los países latinoamericanos, por lo que se hace imperativa la necesidad de monitorear sus condiciones, con indicadores que puedan dar cuenta de su estado, presiones bajo las cuales se encuentran sus componentes, interrelaciones con las dinámicas sociales y económicas, entre otras; además con ellos es posible evidenciar la respuesta ante la aplicación de políticas de gestión pública.

De ahí que los indicadores sean de gran utilidad a la hora de mejorar los procesos de toma de decisiones, formulación e implementación de planes y programas; dando respuesta a los diferentes grupos de usuarios de la información y a los beneficiarios de la misma

Mantener disponible información oficial y de calidad referente al ambiente y la sostenibilidad del desarrollo, demuestra la necesidad de la existencia de indicadores ambientales. Estas mediciones deben constituir un insumo válido en el proceso de objetivación de las decisiones. Por lo anterior es que la CEPAL ha dicho en una de sus series mundiales, la N° 61, que contar con un solo dato aislado o de dudosa procedencia es casi tan negativo como no tener información de una situación.

De acuerdo a lo que dicen las entidades expertas en el mundo acerca de los indicadores, se concluyó que la finalidad principal del diseño de un indicador, es el monitoreo de dinámicas que necesitan intervención, dándoles desde su inicio un enfoque e intencionalidad. Es así que las características básicas que definen la calidad de estas mediciones, para que sean útiles dentro de un proceso de toma de decisiones son: la confiabilidad, la precisión, relevancia, idoneidad, pertinencia, integralidad, consistencia, actualización, contextualización, organización, jerarquización, presentación, replicabilidad y adecuación.

Es por lo anterior que el Gobierno colombiano ha establecido un sistema de indicadores, con la premisa del cumplir con dichos factores de calidad en su estructura conceptual y metodológica. Este sistema denominado SISA, estructurado bajo el marco PER, cuenta con indicadores de oferta ambiental y demanda de recursos, que el IDEAM en compañía y apoyo del DANE y otras instituciones estatales, diseñan y miden para formular propuestas de gestión u ofrecer sus datos como apoyo en los mismos procesos, desde las administraciones municipales y otros ordenes estatales.

Teniendo en cuenta lo anterior, es considerable la representatividad que toma el ENA, que periódicamente da cuenta del estado de este recurso en el país, bajo su conjunto de indicadores, que revelan los resultados de la evaluación del agua en Colombia en los aspectos relacionados con oferta superficial y subterránea, presiones por uso y condiciones de calidad, afianzándose como un insumo técnico relevante en la planificación integrada alrededor de este recurso.

De allí, cobra gran importancia que se realice la medición del ICA, propuesto por el ENA, en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Alta del Río

Chicamocha, al igual que en todas las cuencas del país, como uno de los insumos primordiales a la hora de formular políticas, programas y proyectos que componen estos planes.

Conforme a las variables de entrada necesarias para calcular el ICA, se identificó que en este POMCA, se vienen midiendo los parámetros de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y potencial de hidrogeno, durante el año 2015, en las treinta estaciones con que cuenta la Autoridad Ambiental sobre la cuenca. Sin embargo, para el parámetro que relaciona el nitrógeno versus el fósforo total, al igual que para coliformes fecales, no se encontró el dato directo, en los perfiles de medición de calidad de la cuenca; suscitando la necesidad de realizar un tratamiento para la aplicación de la fórmula del ICA.

De acuerdo al sistema de indicadores de que dispone este POMCA, no se incluye la medición del ICA, sino que se incorpora a este sistema únicamente los indicadores de SST y OD.

La medición del ICA en esta región, debe ser imperativa, al igual que en todas las regiones del país, para que en sinergia, se cuente con mediciones oportunas y de calidad frente a las situaciones ambientales que vive Colombia y, con ello, lograr tomar decisiones con bases firmes que promueva menos riesgos.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Luis Escobar, "Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas," *EURE (Santiago)*, vol. XXXII, no. 96, pp. 73-98, Agosto 2006.
- [2] PNUD Ministerio del Medio Ambiente, informe final del proyecto i, "Informe final del proyecto Indicadores de calidad ambiental urbana y de los observatorios ambientales urbanos," Colnodo, Red de desarrollo sostenible ,Bogotá, Informe final 2001.
- [3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, "Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe," Santiago de Chile, Series mundiales 61 2009.
- [4] Organisation for economic co-Operation and development , "OECD Core set of Indicators for enviromental Performance reviews," OCDE, París, Monografía ambiental 1993.
- [5] Departamento administrativo nacional de estadística, DANE, "Línea base de indicadores," Bogotá D.C., Informe de linea base de indicadores 2012.

- [6] United Nations System- Wide Earthwatch en Dora Catalina Suárez Olave. (1998) Current Status of Indicator Work. [Online].  
<http://warthwatch.unep.net/about/docs/indstat.htm>
- [7] Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM. (2016, Octubre) Indicadores. [Online].  
<http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>
- [8] Lola Manteiga, "Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas," *Estadística y Medio Ambiente*, pp. 75-87, 2000.
- [9] Ministerio de Medio Ambiente, "Indicadores ambientales: una propuesta para España," Dirección general de Calidad y Evaluación Ambiental, Madrid, Informe del Sistema de indicadores de sostenibilidad ambiental 1996.
- [10] Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, SEMANART. (2016, Octubre) Indicadores básicos del desempeño ambiental de México. [Online].  
[http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/00\\_conjunto/marco\\_conceptual2.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual2.html)
- [11] Dora Catalina Suárez Olave, "Indicadores e índices ambientales ," BID - CEPAL - IDEA, Manizlaes, Programa de información e indicadores de gestión de riesgos naturales 2003.
- [12] Subgerencia Cultural del Banco de la República. (2015) Biblioteca virtual Luis Ángel Arango. [Online].  
<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/ciencias/sina>
- [13] CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe, "Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible avances y perspectivas para América Latina y el Caribe," División de Estadística y Proyecciones Económicas, Santiago de Chile, Series Munidales 55 2007.
- [14] Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM, "Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua - ERA," Bogotá D.C., Informe 2013.
- [15] Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, IDEAM, "Estudio Nacional del Agua 2010," Bogotá D.C., 2010.
- [16] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 2667 de 2012, 2012, Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa

e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otra determinaciones.

- [17] IDEAM Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, "Estudio Nacional del Agua 2014," Bogotá D.C., 2015.
- [18] Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM, Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00)., 2011, Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. 10 p.
- [19] Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM, "Zonificación y codificación de unidades hidrológicas e hidrogeológicas de Colombia," Bogotá D.C., Publicación ISSN: 2346-4720, 2013.
- [20] Angela medina, Teresa Riveros, Lina Rozo, and Maria Riveros. (2011) Cuenca del río Chicamocha, Terelinath. [Online]. <http://terelina.blogia.com/2011/032602-cuenca-del-rio-chicamocha.php>
- [21] Microlab Industrial S.A. de C.V. (2016) Microbiología industrial, Análissi de agua. [Online]. <http://www.microbiologiainsdutrial/aguas/coliformes%fecales>
- [22] Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá; Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, "Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha," IDEA- CENES, Tunja, 2006.